民勤青土湖区不同年限退耕地对土壤水分与物种多样性的影响

王 佳[1]， 田 青[1]， 王理德[1,2]， 何洪盛[1]， 宋达成[2]， 郭春秀[2]

（1. 甘肃农业大学林学院，甘肃 兰州 730070；2. 甘肃省治沙研究所，甘肃 兰州 730070）

摘 要：采用空间代替时间法，对民勤青土湖地区不同年限退耕地（退耕1 a、2 a、4 a、8 a、13 a、20 a、30 a、40 a和CK）土壤水分变化与植被演替特征进行了调查与分析。结果表明：（1）随退耕年限增加，土壤含水量整体呈先减少后增加再逐渐趋于稳定。（2）随退耕年限增加，个体数、类群数和Margalef丰富度指数呈波动式下降的趋势；Shannon多样性指数和Pielou均匀度指数总体趋势先增加后减小，再逐渐趋于稳定；Simpson优势度指数整体变化幅度较小，最终呈稳定的趋势。（3）随退耕年限增加，植物群落经历了地肤→盐生草→狗尾草→骆驼蒿→小叶碱蓬→黑果枸杞→红砂→盐爪爪的演替过程。（4）Simpson优势度指数和0~20 cm土层土壤含水量呈极显著负相关，Shannon多样性指数和0~20 cm土层土壤含水量呈极显著正相关，但与20~40 cm土层土壤含水量之间相关性不显著；类群数（*S*）Margalef丰富度指数、Pielou均匀度指数和土壤含水量之间相关性不显著。可见，干旱区植被自然演替取决于0~20 cm土层土壤的含水量。

关键词：青土湖；退耕地；植被自然演替；土壤含水量；相关性

在干旱区，内陆河流域分布着众多尾闾湖，随着绿洲的开发，大量拦截和消耗地表水及地下水，造成尾闾湖萎缩、甚至消亡，使大片的耕地因缺水而撂荒，已严重影响了当地居民的生活水平与荒漠绿洲的生态稳定性[1]。作为民勤绿洲边缘的青土湖，就是石羊河流域下游的尾闾湖[2-3]早期水域面积最大可达400 km^2[4]，是阻止腾格里和巴丹吉林两大沙漠的重要屏障。由于生态系统脆弱，植被物种单一，再加上人类大量开采地下水，使青土湖地区盐碱化和荒漠化现象进一步加剧[5]，特别是20世纪50年代，由于上游来水量减少，加之石羊河中游红崖山水库的修建，导致了青土湖快速干涸，加剧了下游民勤绿洲的沙漠化[6]。再加上中下游地区过度开采地下水等，石羊河下游地下水位下降、土地荒漠化、植被退化等的生态环境问题更加突出[7]。另外，当地关井压田政策，致使大面积土地弃耕而撂荒，民勤绿洲生态环境受到严重破坏。因此，退耕地基础研究及合理保护尤为重要。

植物多样性是群落生态学研究的重要课题[8]，对生态系统的功能起着重要的作用[9]。目前，诸多学者对森林、高原、草原、草甸等多种生态系统的植物多样性研究表明，影响植物多样性的因素有自然因素（土壤、地形、气候）和人为因素（退耕还林）[10-11]。秦洁等[12]研究表明植被和土壤是两个相互作用并相互影响的系统，土壤含水量的分布格局是土壤与植被共同作用而产生的结果；Liu等[13]研究发现土壤含水量与半干旱区草原植被群落物种丰富度和Pielous均匀度没有相关性；张志南等[14]研究表明随土壤含水量的不断增加，物种丰富度随之增加，物种多样性也随之增加；濮阳雪华等[15]研究表明土壤含水量与植被群落物种多样性指数呈显著正相关关系。李新荣等[16]研究表明土壤含水量的增加对物种多样性影响并不明显。由此可见，对于土壤含水量和植被群落特征的研究结论存在差异，这主要是研究区自然地理及环境条件差异而造成。

关于石羊河下游退耕地的相关研究主要集中在土壤、水分、植被等方面[17-20]，而对于石羊河下游青土湖区不同年限退耕地的土壤水分和植被间的

收稿日期：2021-04-22； **修订日期**：2021-08-11
基金项目：国家自然科学基金项目（31760709）；甘肃省重点研发计划（21YF5FA038）；甘肃省青年科技基金项目（18JR3RA019）
作者简介：王佳（1996-），女，硕士研究生，主要从事林业研究. E-mail: 2507326198@qq.com
通讯作者：田青. E-mail: tqing@gsau.edu.cn

相关性研究较少。因此，本文采用空间代替时间法，对石羊河下游青土湖不同年限退耕地植被自然演替特征和土壤水分变化及其相关性进行分析研究，旨在为该区生态系统的修复提供科学理论依据，为民勤及其相似地区的生态环境建设提供技术支撑。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于甘肃省武威市民勤县的西渠镇，地理位置39°01′44.11″~39°03′57.53″N、103°35′9.84″~103°37′55.49″E，平均海拔为1305 m，西靠甘肃省金昌市，东部和北部与内蒙古接壤，南邻甘肃省武威市，多年的平均气温为7.4 ℃，极端最低气温是−28.8 ℃，极端最高气温达38.1 ℃，年总辐射量为6000 MJ·m^{-1}；年日照时数2832.1 h；年平均风速2.3 m·s^{-1}；年均降水量110 mm，主要集中在7—9月，占年均降雨量的73%。无霜期175 d，沙尘暴日数26.8 d。光照充足、蒸发强烈、昼夜温差大、降雨稀少、气候干旱，属于典型的温带大陆性干旱气候；土壤以灰棕漠土为主，盐碱化程度高；该地区的地貌类型主要以风沙地貌、低山地貌和平原地貌3种类型为主；灌木植物主要有红砂（*Reaumuria songarica*）、黑果枸杞（*Lycium ruthenicum*）、白刺（*Nitraria tangutorum*）、盐爪爪（*Kalidium foliatum*）、小果白刺（*Nitraria sibirica*）等；草本植物主要以骆驼蒿（*Peganum nigellastrum*）、蒙古猪毛菜（*Salsola ikonnikovii*）、碱蓬（*Suaeda glauca*）、田旋花（*Convolvulus arvensis*）、盐生草（*Halogeton arachnoideus*）、藜（*Chenopodium album*）、骆驼蓬（*Peganum harmala*）、虎尾草（*Chloris virgata*）等为主，不同年限退耕地基本特征如表1所示。

1.2　样地设置与植物群落调查

在2018年8—9月，走访调查了民勤县林业部门和当地居民，准确掌握了试验样地退耕时间、次生草地植被以自然恢复为主，该区域的海拔高度相差不超过10 m，不同样地距离较近，可以排除海拔和纬度等指标对植被生长结果的影响。并且样地未受自然因素和人为因素影响。在保证不同样地成土母质基本相同的情况下，选择退耕1 a、2 a、4 a、8 a、13 a、20 a、30 a、40 a和耕地（CK）作为对照样地，共9个样地。CK要求种植的农作物，在施肥、灌水等管理措施与其他样地退耕前种植的农作物及管理措施相同或者相近，测量并详细记录在每个样方中的群落类型、海拔高度、地理坐标及土壤类型，样地面积为1 hm^2（100 m×100 m），在每一个样地的中心和四角分别布设5个10 m×10 m的样方用于测定灌木、半灌木植物群落特征及其个体数、高度、植被覆盖度以及冠幅等指标；在灌木、半灌木的样方内选择5个（1 m×1 m）草本样方用于测定一年生、多年生草本植物群落特征及其个体数、高度和植被覆盖度指标。

1.3　土壤采集

2018年9月19—20日，植被调查的同时运用S形的方法在不同年限退耕样地中，布设5个点进行土样的采集，分别在0~20 cm、20~40 cm土层用环刀取土样，同一样地、同一土层所采取的5个土样混合均匀

表1　不同年限退耕地基本特征

Tab. 1　Basic characteristics in abandoned land in different years

退耕年限/a	经纬度	海拔/m	群落优势种	土壤类型
0	39 °03′52.00″N，103°35′14.00″E	1308.1	茴香（*Foeniculum vulgare*）	灰棕漠土
1	39°03′57.53″N，103°35′07.29″E	1305.9	地肤+中亚滨藜+虎尾草（*Kochia scoparia+Atriplex centralasiatica+Chloris virgata*）	灰棕漠土
2	39 °03′49.18″N，103°35′11.43″E	1314.2	碱蓬+地肤+白茎盐生草+虎尾草（*Suaeda glauca+Kochia scoparia+Halogeton arachnoideus+Chloris virgata*）	灰棕漠土
4	39 °03′50.69″N，103°35′10.2″E	1308.7	碱蓬+地肤+芨芨草+小果白刺（*Suaeda glauca+Kochia scoparia+Achnatherum splendens+Nitraria sibirica*）	灰棕漠土
8	39 °03′25.13″N，103°36′08.92″E	1305.0	小果白刺+黑果枸杞（*Nitraria sibirica+Lycium ruthenicum*）	灰棕漠土
13	39 °02′30.29″N，103°36′18.18″E	1306.4	黑果枸杞（*Lycium ruthenicum*）	灰棕漠土
20	39 °01′44.11″N，103°37′01.85″E	1308.1	黑果枸杞（*Lycium ruthenicum*）	灰棕漠土
30	39 °02′39.51″N，103°37′29.73″E	1302.0	黑果枸杞+盐爪爪（*Lycium ruthenicum+Kalidium foliatum*）	灰棕漠土
40	39 °02′54.31″N，103°37′55.49″E	1302.8	黑果枸杞+盐爪爪（*Lycium ruthenicum+Kalidium foliatum*）	灰棕漠土

后为一个土样,3个重复,将采集的样本装到自封PC袋里,迅速带回试验室采用烘干法测定土壤含水量。

1.4 测定方法

1.4.1 土壤含水量的测定方法　土壤含水量采用烘干法测定[21],以重量百分数表示土壤含水量,以土壤中所含水分重量占烘干土重的百分数表示,计算公式为:

土壤含水量=(原土重-烘干土重)/烘干土重×100%=水重/烘干土重×100%　　(1)

1.4.2 物种多样性的测定　选用Margalef丰富度指数、Pielou均匀度指数、Simpson优势度指数、Shannon多样性指数和重要值等对青土湖区不同年限退耕地植被群落进行测定分析[22]。计算公式如下:

$$IV=(RHI+RCO+RFE)\times 100\% \quad (2)$$

式中:IV为重要值;RHI为相对高度;RCO为相对盖度;RFE为相对频度。

相对高度=(某种植物的高度/全部植物的总高度高度)×100%

相对盖度=(某种植物的盖度/全部植物的总盖度)×100%

相对频度=(某种植物的频度/所有种的频度总和)×100%

$$\text{Shannon多样性指数:}\ H=-\sum_{i=1}^{s}P_i\ln P_i \quad (3)$$

$$\text{Simpson优势度指数:}\ C=\sum_{i=1}^{s}\frac{N_i(N_i-1)}{N(N-1)} \quad (4)$$

$$\text{Pielou均匀度指数:}\ E=\frac{H}{\ln S} \quad (5)$$

$$\text{Margalef丰富度指数:}\ D_{MG}=\frac{S-1}{\ln N} \quad (6)$$

式中:P_i表示频度;N_i是第i个类群的个体数;S是类群数目;N是所有类群的总个体数。

1.5 数据处理与分析

试验数据用Excel 2013软件进行统计整理,用SPSS 20.0软件对植被和土壤数据进行单因素方差分析和相关性分析,在差异显著条件下采用LSD进行多重比较。

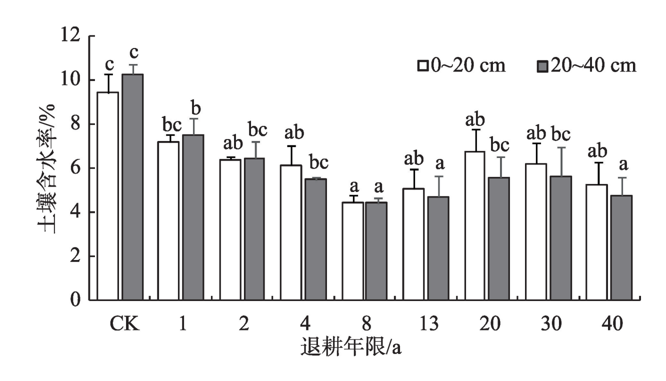
2 结果与分析

2.1 青土湖区不同年限退耕地土壤水分变异特征

不同年限、不同土层退耕地土壤含水量变化趋势如图1所示,随退耕年限的不断增加,土壤含水量整体呈先降低后增加再逐渐趋于稳定。土壤含水量在退耕0~8 a时逐渐降低,在退耕8~20 a时逐渐增加,在退耕20~40 a时逐渐趋于稳定。其中,CK中8~20 a、20~40 a土层土壤含水量均大于其他年限退耕地,分别为9.41%、10.26%,并与其他退耕地土壤含水量呈显著差异;退耕8 a时土壤含水量降到最低点,在0~20 cm土层中土壤含水量为4.43%,在20~40 cm土层中土壤含水量为4.41%,并且表现出显著差异。

2.2 不同年限退耕地植物群落物种组成及重要值

由表2和表3可知,在青土湖区退耕40 a的植被



注:不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05),CK表示未退耕土地。下同。

图1　不同年限退耕地土壤水分特征

Fig. 1　Soil moisture characteristics of fallow land in different years

表2　退耕地生活型组成特征

Tab. 2　Life type composition characteristics of fallow land

生活型	科		属		种	
	数目	占总科数/%	数目	占总属数/%	数目	占总物种数/%
一年生草本	5	31.25	12	37.5	15	35.71
多年生草本	12	75	13	40.63	16	38.10
灌木	5	31.25	6	18.75	8	19.05
木质落叶大藤本	1	6.25	1	3.13	1	2.38
缠绕草质藤本	1	6.25	1	3.13	1	2.38
落叶乔木	1	6.25	1	3.13	1	2.38

表3 不同退耕年限植被群落的物种组成和重要值

Tab. 3 Species composition and importance values of vegetation communities in different years of fallowing

物种	科	属	退耕时间/a							
			1	2	4	8	13	20	30	40
灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)	藜科	藜属	3.57	0	0	0	0	0	0	0
茴香(*Foeniculum vulgare*)	伞形科	茴香属	2.77	0	0	0	0	0	0	0
蒿(*Artemisia selengensis*)	菊科	蒿属	3.87	0	0	0	0	0	0	0
山苦荬(*Ixeris chinensis*)	菊科	苦荬菜属	4.00	0	0	0	0	0	0	0
稗子草(*Echinochloa crus-galli*)	禾本科	稗属	22.00	10.73	0	0	0	0	0	0
砂引草(*Tournefortia sibirica*)	紫草科	紫丹属	0.60	0	0	0	0	0	0	0
盐生草(*Halogeton glomeratus*)	藜科	盐生草属	9.46	7.72	0	0	0	0	0	0
藜(*Chenopodium album*)	藜科	地肤属	8.05	7.60	0	0.38	0	0	0	0
中亚滨藜(*Atriplex centralasiatica*)	藜科	滨藜属	10.23	11.02	8.51	3.31	0	4.19	0	0
田旋花(*Convolvulus arvensis*)	旋花科	旋花属	5.38	4.44	2.47	0	2.97	0	0	0
地肤(*Kochia scoparia*)	藜科	地肤属	9.86	6.33	4.31	1.33	0	0	0	0
赖草(*Leymus secalinus*)	禾本科	赖草属	2.19	3.27	4.77	0	10.29	0	0	0
狗尾草(*Setaria viridis*)	禾本科	狗尾草属	2.27	0.41	0	0	0	0	0	0
碱蓬(*Suaeda glauca*)	藜科	碱蓬属	2.40	4.10	1.21	1.03	0	0	0	0
虎尾草(*Chloris virgata*)	禾本科	虎尾草属	3.96	4.26	0	0	5.17	5.44	0	0
细叶骆驼蓬(*Peganum harmala*)	蒺藜科	骆驼蓬属	1.62	3.18	5.15	6.00	8.74	0	0	0
柽柳(*Tamarix chinensis*)	柽柳科	柽柳属	2.32	3.81	4.36	4.13	0	0	0	0
白茎盐生草(*Halogeton arachnoideus*)	藜科	盐生草属	3.51	5.46	0	6.23	7.39	7.46	3.47	3.84
球果群心菜(*Lepidium chalepense*)	十字花科	群心菜属	0	2.53	0	0	0	0	0	0
甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)	豆科	甘草属	0	1.15	0	0	0	0	0	0
平卧碱蓬(*Suaeda prostrata*)	藜科	碱蓬属	0	2.94	0	0	0	0	0	0
鹅绒藤(*Cynanchum chinense*)	萝藦科	鹅绒藤属	0	1.84	0	0	0	0	0	0
小果白刺(*Nitraria sibirica*)	蒺藜科	白刺属	0	8.91	9.05	7.51	0	0	0	0
沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)	胡颓子科	胡颓子属	0	0	10.02	0	0	0	0	0
独行菜(*Lepidium apetalum*)	十字花科	独行菜属	0	0	0	0.09	0	0	0	0
枸杞(*Lycium chinense*)	茄科	枸杞属	0	10.31	0	10.00	11.56	0	0	0
芦苇(*Phragmites australis*)	禾本科	芦苇属	0	0	4.95	1.28	0	0	0	0
星花碱蓬(*Suaeda stellatiflora*)	藜科	碱蓬属	0	0	0	0	0	1.04	0	0
地锦(*Parthenocissus tricuspidata*)	葡萄科	地锦属	0	0	0	1.03	1.22	2.02	0	0
黄花补血草(*Limonium aureum*)	白花丹科	补血草属	0	0	8.99	0	6.81	4.26	0	0
芨芨草(*Achnatherum splendens*)	禾本科	芨芨草属	0	0	10.00	0	0	0	0	0
白刺(*Nitraria tangutorum*)	蒺藜科	白刺属	0	0	11.53	8.14	0	0	0	8.50
画眉草(*Eragrostis pilosa*)	禾本科	画眉草属	0	0	0	0	0.10	1.31	0	0.88
小叶碱蓬(*Suaeda microphylla*)	藜科	碱蓬属	0	0	0	0	7.88	8.72	0	0
骆驼蒿(*Peganum nigellastrum*)	蒺藜科	骆驼蓬属	0	0	14.68	4.31	10.45	9.74	11.61	10.07
蒙古猪毛菜(*Salsola ikonnikovii*)	藜科	猪毛菜属	0	0	0	0	4.71	0	0	0
红砂(*Reaumuria soongarica*)	柽柳科	红砂属	0	0	0	9.97	0	13.80	6.24	8.21
骆驼蓬(*Peganum harmala*)	蒺藜科	骆驼蓬属	0	0	0	0	0	0	0	1.91
黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)	茄科	枸杞属	0	0	0	18.24	22.71	23.19	25.82	29.84
盐爪爪(*Kalidium foliatum*)	藜科	盐爪爪属	1.96	0	0	17.03	0	18.40	52.86	36.01
五星蒿(*Echinopilon divaricatum*)	藜科	雾冰藜属	0	0	0	0	0	0	0	0.74
黄花矶松(*Limonium aureum*)	兰雪科	补血草属	0	0	0	0	0	0.44	0	0

自然演替过程中,调查的样地中共出现42种植物,其中一年生草本(15种)占总物种数的35.71%、多年生草本(16种)占总物种数的38.10%、灌木(8种)占总物种数的19.05%,木质落叶大藤本、落叶乔木和缠绕草质藤本各1种占总物种数的7.14%,而且藜科(9属13种)、禾本科(7属7种)和蒺藜科(2属5种)3种植物种类占总物种数的59.52%,分别占总属数的28.13%、21.88%和6.25%;剩余物种包括十字花科、菊科、柽柳科分别为2属2种,茄科为1属2种共占总物种数的19.05%。其余物种如白花丹科(黄花补血草 *Limonium aureum*)、豆科(甘草 *Glycyrrhiza uralensis*)、胡颓子科(沙枣 *Elaeagnus angustifolia*)、兰雪科(玛多黄花补血草 *Limonium aureum* var. *maduoensis*)、萝藦科(鹅绒藤 *Cynanchum chinense*)、葡萄科(地锦 *Parthenocissus tricuspidata*)、伞形科(茴香 *Foeniculum vulgare*)、十字花科(独行菜 *Lepidium apetalum*)和紫草科(砂引草 *Messerschmidia sibirica* Linn.)分别为1科1属。

不同年限退耕地植被群落的物种组成和重要值由表3可知,在退耕1 a后,田间大部分为一年生草本[田旋花(*Convolvulus arvensis*)、藜(*Chenopodium album*)和地肤(*Kochia scoparia*)等]和少数多年生草本植物[赖草(*Leymus secalinus*)、砂引草(*Tournefortia sibirica*)和细叶骆驼蓬(*Peganum harmala*)等],并伴有少数灌木,如盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)等植物,物种数量比较多;退耕2 a后,一年生草本盐生草、地肤、藜和狗尾草的重要值明显减少为7.72、6.33、7.60、0.41;退耕4 a后,植物群落中一年生和多年生草本植物种类明显减少,其重要值也随之降低。碱蓬、田旋花等植物的重要值减小为1.21、2.47;退耕后8~20 a,群落内灌木植物的数量逐渐增多,但植物种类总数量较稳定,木质落叶大藤本地锦和小灌木红砂等的植物首次出现,其中一年生草本,如藜、地肤、碱蓬、独行菜等植物完全退出,群落优势种由草本植物逐渐转化成灌木植物,盐爪爪、黑果枸杞等灌木植物成为群落优势种,植物种由退耕1 a的19种降低到退耕20 a的13种;退耕30 a后,群落中的植物种类下降到5种,主要以黑果枸杞和盐爪爪灌木植物为主,植物群落相对稳定;退耕40 a时耐盐碱植物盐爪爪成为该地的优势种,其重要值为36.01。

2.3 不同年限退耕地植物群落的物种多样性变化

不同年限退耕地植物群落的个体数、类群数、Shannon多样性指数、Pielou均匀度指数、Simpson优势度指数、Margalef丰富度指数的变化情况如表4所示,在退耕1~40 a的群落演替过程中,随退耕年限的增加,个体数逐渐减少,类群数和Margalef丰富度指数总体呈波动式下降,其中Margalef丰富度指数在退耕4 a时呈上升趋势,达到最大值2.19,在退耕4 a后逐渐下降,并趋于稳定。Shannon多样性指数和Pielou均匀度指数在退耕1~4 a间逐渐增加,在退耕4~13 a里逐渐减小,在退耕20 a后逐渐趋于稳定。Simpson优势度指数在退耕13 a时达到最大值0.41,但是整体变化幅度较小,最终呈稳定的趋势。说明随退耕年限的增加,植物数量趋于减少,植物种类趋于简单。

2.4 不同年限退耕地植物群落物种多样性与土壤水分的相关性分析

由表5物种多样性与土壤水分相关性分析表明,Pielou均匀度指数、Shannon多样性指数以及Simpson优势度指数呈极显著负相关关系,Simpson优势度指数和0~20 cm土层土壤含水量呈极显著负

表4　物种多样性随退耕年限的变化

Tab. 4　Changes in species diversity with the number of years of fallowing

退耕年限/a	个体数(*N*)/株	类群数(*S*)/棵	Shannon多样性指数	Pielou均匀度指数	Simpson优势度指数	Margalef丰富度指数
1	1125	20	1.81	0.42	0.41	1.88
2	1516	19	2.57	0.61	0.23	1.70
4	405	20	3.45	0.80	0.11	2.19
8	863	14	2.48	0.65	0.24	1.33
13	2172	14	1.84	0.48	0.41	1.17
20	3445	13	2.19	0.59	0.28	1.02
30	567	6	1.65	0.64	0.34	0.55
40	652	8	2.22	0.74	0.25	0.75

表5　物种多样性与土壤水分相关性

Tab. 5　Species diversity and soil moisture correlation table

指标	个体数(*N*)/株	类群数(*S*)/棵	Shannon 多样性指数	Pielou 均匀度指数	Simpson 优势度	Margalef 丰富度指数	0~20 cm 土壤含水量	20~40 cm 土壤含水量
个体数(*N*)	1.00							
类群数(*S*)	0.06	1.00						
Shannon多样性指数	−0.26	0.52	1.00					
Pielou均匀度指数	−0.46	−0.23	0.70	1.00				
Simpson优势度指数	0.31	−0.20	−0.92**	−0.89**	1.00			
Margalef丰富度指数	−0.16	0.97**	0.65	−0.03	−0.35	1.00		
0~20 cm土壤含水量	0.24	0.35	0.09**	−0.31	−0.13**	0.30	1.00	
20~40 cm土壤含水量	0.03	0.53	−0.14	−0.49	0.26	0.46	0.88**	1.00

注:**表示相关性在0.01水平上显著。

相关关系,Shannon多样性指数和0~20 cm土层土壤含水量呈极显著正相关关系,类群数(*S*)和Margalef丰富度指数呈极显著正相关关系,0~20 cm土层土壤含水量和20~40 cm土层土壤含水量呈极显著正相关关系,Pielou均匀度指数和土壤含水量相关性不显著。

3　讨论

3.1　不同年限退耕地对土壤含水量的影响

石羊河下游青土湖地区属于温带大陆性干旱气候[23],土壤水分是植物生长的必需要素[24],是干旱区植物生存发展的限制性因子[25]。退耕初期,土壤中持有原来耕作时大量的水分,所以退耕地就会出现较多的杂草,这些杂草主要以一年生和多年生的草本植物为主,草本植物在生长过程中消耗了土壤中大量水分,但是退耕后只靠降水无法补给水分,所以土壤水分逐渐下降;在退耕13 a时,植物群落演替以黑果枸杞为主的单一群落,植物数量与种类减少,降低了对土壤水分的消耗,所以在8~20 a时土壤水分在逐渐增加;随后群落趋于稳定,此时土壤水分得到恢复并趋于稳定状态。因此,样地土壤含水量整体呈先降低后增加再减小的趋势。这一结论与柴成武等[26]研究民勤青土湖区不同年限退耕地土壤水分和养分变化中的结果相似,但是与邹养军等[27]研究渭北旱塬土壤水分变化特征的结果不同,这可能是研究区自然条件与环境条件不同造成的,特别是研究区为干旱区退耕地,土壤及降雨量的不同,从而导致水分变化的不同结果。

3.2　不同年限退耕地对物种多样性的影响

在青土湖退耕40 a的植被演替过程中,9个样方共出现42种植物,分属于16科32属。其中,藜科、禾本科、蒺藜科、十字花科、菊科、柽柳科、茄科7科占总物种数的78.57%,所占比例比较大,说明这些植物在退耕地的植被演替中起着重要的作用,而且物种构成表现为"多数种属于少数科、少数种属于多数科",大部分植物种为单属单科;植被演替过程中表现出连续性特征,如白茎盐生草基本在不同年限退耕地中连续出现。此外,不同年限退耕地植被群落演替还具有递进性。

在退耕初期,群落中的植物大多数以一年生和多年生草本植物为主;在退耕后8~20 a,群落中的植物逐渐演替为多年生草本植物和木本植物;退耕后30~40 a,群落演替趋于稳定,主要以灌木群落为主。总的来说,随着退耕年限的不断增加,植物群落经历了地肤→盐生草→狗尾草→骆驼蒿→小叶碱蓬→黑果枸杞→红砂→盐爪爪的演替过程。符合荒漠地区植物区系的总体特征,结果与王理德[28]对民勤退耕区次生草地的研究结果相一致。

物种多样性是植物群落的基本特征[29],利于阐明植物群落结构特征的发展阶段及稳定性的问题[30],在退耕1~40 a的群落演替过程中,随退耕年限的增加,个体数逐渐减少,而Margalef丰富度指数和类群数呈波动式下降的趋势,其中在退耕1~4 a中,Margalef丰富度指数呈上升趋势,在退耕4 a后下降的速度变的缓慢,说明随着退耕年限不断的增加,物种在逐渐减少并趋于简单。Shannon多样性和Pielou均匀度指数在退耕1~4 a间逐渐增加,在退

耕4~13 a里逐渐减小,在退耕20 a后逐渐趋于稳定。Simpson优势度指数在退耕13 a时达到最大值,最大值为0.41,但是整体变化幅度较小,最终呈稳定的趋势。这一结论与李治元等[31]对石羊河下游盐渍化弃耕地植被演替特征分析的结果相似,但与白文娟等[32]研究黄土丘陵沟壑区退耕地、李永强等[33]研究典型草原区撂荒地的结果不同,这可能是由于试验样地不同所导致的,本试验样地选择的是青土湖干旱区退耕地,退耕过程由草本植物逐渐向灌木植物演替,与黄土丘陵沟壑区退耕地、典型草原区撂荒地的水文、土壤、地形、气候等不同,导致结果也不同。由此说明,植物群落物种在自然演替过程中向着简单、稳定的方向逐渐发展。

3.3　影响退耕地物种多样性的因素

植被和土壤水分间存在复杂、密切的生态关系,植物的生长过程需要消耗土壤中的水分,导致土壤含水量不断的下降[34]。由表4表明,Pielou均匀度指数、Shannon多样性指数和Simpson优势度指数呈极显著负相关关系;类群数(S)和Margalef丰富度指数呈极显著正相关关系;0~20 cm土层土壤含水量和Shannon多样性指数呈极显著正相关关系,0~20 cm土层土壤含水量和Simpson优势度指数呈极显著负相关关系,表明青土湖地区0~20 cm土层土壤水分对植被多样性有着显著的影响,退耕初期,大量种类的草本植被出现,植被多样性增加,但其消耗了大量退耕地的水分,而土壤含水量的下降,使得部分植被因生存空间缩小而被淘汰,因此,植被多样性下降。0~20 cm土层土壤含水量和20~40 cm土层土壤含水量呈极显著正相关关系;土壤含水量和Pielou均匀度指数相关性不显著,由此说明除了土壤含水量,还有其他因素限制植物的生长,土壤含水量和Pielou均匀度指数未表现相关,有研究表明植被通过长期演化进而适应生境条件的植被,形成自身的特征属性,各物种之间分布相对比较均匀,故而对水分变化的响应不明显[35]。本研究中,样地植被生长于干旱缺水的环境下,随着植被演替的进程,植物已经适应生境条件,因此物种均匀度与土壤含水量未表现相关。

本研究仅对不同年限退耕地上的水分变化、物种多样性变化及相关性进行研究。已有研究表明,物种多样性除了与土壤含水量有着密切的关系外,还和土壤养分、碳氮循环等因素有关[36]。在今后的探究中,应加强物种多样性与土壤养分、碳氮循环等因素的相关研究。

4　结 论

(1) 民勤青土湖区退耕地40 a自然恢复过程中,随退耕年限增加,土壤含水量整体呈先减少后增加再逐渐减少,并趋于稳定。不同土层含水量差异不明显。

(2) 研究区样方共出现16科32属42种植物,物种构成表现为“多数种属于少数科、少数种属于多数科”。植被演替过程中表现出连续性和递进性特征,植物群落物种向着简单、稳定的方向逐渐发展。

(3) 植被和土壤水分间具有密切相关性。Pielou均匀度指数、Shannon多样性指数以及Simpson优势度指数呈极显著负相关关系,Simpson优势度指数和0~20 cm土层土壤含水量呈极显著负相关关系,Shannon多样性指数和0~20 cm土层土壤含水量呈极显著正相关关系,类群数(S)和Margalef丰富度指数呈极显著正相关关系。0~20 cm土层土壤含水量对植被自然演替起着关键性的作用。

参考文献(References):

[1]　刘秀强, 陈喜, 张阳阳, 等. 青土湖土壤剖面盐分特征及其定量表述研究[J]. 干旱区研究, 2020, 37(5): 1174−1182. [Liu Xiuqiang, Chen Xi, Zhang Yangyang, et al. Study on salt distribution characteristics and mathematical expression of the soil profile in Qingtu Lake[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(5): 1174−1182.]

[2]　郭树江, 杨自辉, 王强强, 等. 青土湖干涸湖底风沙区植被特征与地表输沙量关系[J]. 水土保持研究, 2021, 28(1): 19−24. [Guo Shujiang, Yang Zihui, Wang Qiangqiang, et al. Relationship between vegetation characteristics and sediment discharge transported by surface wind-sand flow in dry lake bottom sandstorm area of Qingtu Lake[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(1): 19−24.]

[3]　赵强, 王乃昂, 程弘毅, 等. 青土湖沉积物粒度特征及其古环境意义[J]. 干旱区地理, 2003, 26(1): 1−5. [Zhao Qiang, Wang Nai’ang, Cheng Hongyi, et al. Grain-size characteristics of Qingtu Lake sediments and its paleaoenvironment explaination[J]. Arid Land Geography, 2003, 26(1): 1−5.]

[4]　赵鹏, 徐先英, 屈建军, 等. 石羊河下游青土湖大气降水氢氧同位素特征及水汽来源[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(3): 80−85. [Zhao Peng, Xu Xianying, Qu Jianjun, et al. Characteristics of D and δ^{18}O in precipitation in Qingtu Lake area, at lower reaches

of Shiyanghe River and its water vapor sources[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(3): 80–85.]

[5] 张华, 张玉红, 张改改. 民勤绿洲青土湖植被优势种地上生物量估算[J]. 干旱区地理, 2020, 43(1): 201–210. [Zhang Hua, Zhang Yuhong, Zhang Gaigai. Aboveground biomass estimation of the dominant species of vegetation in the Qingtu Lake at Minqin Qasis [J]. Arid Land Geography, 2020, 43(1): 201–210.]

[6] O′Brien W. Canals and canal conveyance[J]. Journal of the Franklin Institute, 1859, 67(1): 17–26.

[7] Davies P A, Lees F P. The assessment of major hazards: The road transport environment for conveyance of hazardous materials in Great Britain[J]. Journal of Hazardous Materials, 1992, 3 2(1): 41–79.

[8] 岳永杰, 苏志成, 韩君, 等. 内蒙古大兴安岭林区典型森林群落物种多样性研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2020, 41(4): 21–26. [Yue Yongjie, Su Zhicheng, Han Jun, et al. Species diversity and community structure research of forest vegetation in Greater Higgnan mountain[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2020, 41(4): 21–26.]

[9] Sa W J, An L Z, Sa W. Changes in plant community diversity and aboveground biomass along with altitude within an alpine meadow on the Three-River source region[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(27): 3573–3577.

[10] 何玉惠, 刘新平, 谢忠奎. 氮素添加对黄土高原荒漠草原草本植物物种多样性和生产力的影响[J]. 中国沙漠, 2015, 35(1): 66–71. [He Yuhui, Liu Xinping, Xie Zhongkui. Effect of nitrogen addition on species diversity and plant productivity of herbaceous plants in desert grassland of the Loess Plateau[J]. Journal of Desert Research, 2015, 35(1): 66–71.]

[11] 雷斯越, 郭晋伟, 何亮, 等. 黄土丘陵区退耕坡面草地恢复与土壤物理性质空间分异特征[J]. 水土保持学报, 2021, 35(1): 251–258. [Lei Siyue, Guo Jinwei, He Liang, et al. Spatial differentiation characteristics of grassland restoration and soil Physical properties of slope in hilly-gully region of Loess plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(1): 251–258.]

[12] 秦洁, 司建华, 贾冰, 等. 巴丹吉林沙漠植被群落特征与土壤水分关系研究[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 207–222. [Qin Jie, Si Jianhua, Jia Bing, et al. Study on the relationship between vegetation community characteristics and soil moisture in Badain Jaran Desert[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(1): 207–222.]

[13] Liu J, Wu P, Wang Y B, et al. Impacts of changing cropping pattern on virtual water flows related to crops transfer: A case study for the Hetao Irrigation District, China[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 94(14): 2992–3000.

[14] 张志南, 武高林, 王冬, 等. 黄土高原半干旱区天然草地群落结构与土壤水分关系[J]. 草业学报, 2014, 23(6): 313–319. [Zhang Zhinan, Wu Gaolin, Wang Dong, et al. Plant community structure and soil moisture in the semi-arid natural grassland of the Loess Plateau[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2014, 23(6): 313–319.]

[15] 濮阳雪华, 王春春, 苟清平, 等. 陕北黄土区植被群落特征与土壤水分关系研究[J]. 草业学报, 2019, 28(11): 184–191. [Pu Yangxuehua, Wang Chunchun, Gou Qingping, et al. Relationship between vegetation community and soil moisture in the loess region of northern Shaanxi Province[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2019, 28(11): 184–191.]

[16] 李新荣, 张景光, 刘立超, 等. 我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变过程中植物多样性的研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 257–261. [Li Xinrong, Zhang Jingguang, Liu Lichao, et al. Plant diversity in the process of succession of artificial vegetation types and environment in an arid desert region of China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2000, 24(3): 257–261.]

[17] 王方琳, 魏小红, 王理德, 等. 民勤绿洲不同年限退耕地土壤养分变化及其相关性分析[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(2): 119–124. [Wang Fanglin, Wei Xiaohong, Wang Lide, et al. Woodland soil nutrient changes and correlation analysis of different fixed numbers of abandoned lands in Minqin Oasis[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(2): 119–124.]

[18] 王方琳, 王理德, 韩富贵, 等. 民勤绿洲退耕地土壤养分分布特征研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(17): 195–199. [Wang Fanglin, Wang Lide, Han Fugui, et al. The study of soil nutrient distribution in abandoned lands in the Minqin Oasis[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(17): 195–199.]

[19] 李昌龙, 尉秋实, 柴成武. 石羊河下游沙地退耕地植被演替与土壤水分调控研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 116–121. [Li Changlong, Yu Qiushi, Chai Chengwu. Vegetation succession and soil moisture control of abandoned sandy ploughed-lands in lower reaches of Shiyang River[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(9): 116–121.]

[20] 李雪洮. 石羊河下游退耕地植物群落次生演替研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016. [Li Xuezhao. Study of Plant Community Secondary Succession on Abandoned Farmland in the Lower Reaches of Shiyang River[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2016.]

[21] 王婷, 李朝周, 焦健, 等. 不同生境芦苇根茎生长发育与根际微环境的比较研究[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 233–240. [Wang Ting, Li Chaozhou, Jiao Jian, et al. Comparative study on the reed rhizospheric microenvironment and reed rhizome growth and development in different habitats[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(1): 233–240.]

[22] 严灵君, 王欢利, 王仲伟, 等. 南京入江河道口草本植物群落特征及多样性[J]. 福建林业科技, 2020, 47(4): 1–7. [Yan Lingjun, Wang Huanli, Wang Zhongwei, et al. Characteristics and species diversity of herbaceous plants community on five tributary-Yangtze River confluence in Nanjing[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2020, 47(4): 1–7.]

[23] 杨丽娟, 黄峰, 潘若云, 等. 青土湖绿洲植被指数适用性及优选研究[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(19): 65–68, 72. [Yang Lijuan, Huang Feng, Pan Ruoyun, et al. Study on the applicability and optimization of vegetation index in Qingtu Oasis[J]. Journal of Anhui

Agricultural Sciences, 2020, 48(19): 65-68, 72.]

[24] 赵丹阳, 毕华兴, 侯贵荣, 等. 晋西黄土区典型林地土壤水分变化特征[J]. 水土保持学报, 2021, 35(1): 181-187. [Zhao Danyang, Bi Huaxing, Hou Guirong, et al. Soil moisture dynamics of typical plantation in loess region of west Shanxi[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(1): 181-187.]

[25] 赵鹏, 徐先英, 纪永福, 等. 民勤绿洲边缘不同演替阶段白刺灌丛水分利用动态[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(9): 168-175. [Zhao Peng, Xu Xianying, Ji Yongfu, et al. Water utilization dynamics of *Nitraria tangutorum* nebkhas in different succession stages at the edge of Minqin Oasis[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(9): 168-175.]

[26] 柴成武, 王理德, 尉秋实, 等. 民勤青土湖区不同年限退耕地土壤水分和养分变化[J]. 水土保持研究, 2020, 27(5): 101-105. [Chai Chengwu, Wang Lide, Yu Qiushi, et al. Soil moisture and nutrient changes in different years of abandoned farmlands in Qingtu District[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(5): 101-105.]

[27] 邹养军, 陈金星, 马锋旺, 等. 渭北旱塬不同种植年限苹果园土壤水分的变化特征[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 41-43. [Zou Yangjun, Chen Jinxing, Ma Fengwang, et al. Characteristics of soil moisture change of apple orchards of different plangting years in Weibei Dryland[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(1): 41-43.]

[28] 王理德. 民勤退耕区次生草地植被及土壤系统演变研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016. [Wang Lide. Evolution of Vegetation and Soil System on Secondary Grassland of Abandoned Land Area in Minqin[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2016.]

[29] 王蒙, 董治宝, 罗万银, 等. 巴丹吉林沙漠南缘植被物种多样性及其与土壤特性的关系[J]. 西北植物学报, 2015, 35(2): 379-388. [Wang Meng, Dong Zhibao, Luo Wanyin, et al. Species diversity of vegetation and its relationship with soil characteristics in the southern marginal zone of the Badain Jaran Desert[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2015, 35(2): 379-388.]

[30] 孙一梅, 田青, 吕朋, 等. 极端干旱与氮添加对半干旱沙质草地物种多样性、叶性状和生产力的影响[J]. 干旱区研究, 2020, 37(6): 1569-1579. [Sun Yimei, Tian Qing, Lyu Peng, et al. Effects of extreme drought and nitrogen addition on species diversity, leaf trait, and productivity in a semiarid sandy grassland[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(6): 1569-1579.]

[31] 李治元, 李昌龙, 王多泽, 等. 石羊河下游盐渍化弃耕地植被演替特征分析[J]. 西北植物学报, 2010, 30(10): 2087-2092. [Li Zhiyuan, Li Changlong, Wang Duoze, et al. Characteristics of vegetation succession on salinized abandoned fields in lower reaches of Shiyang River[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2010, 30(10): 2087-2092.]

[32] 白文娟, 焦菊英. 黄土丘陵沟壑区退耕地主要自然恢复植物群落的多样性分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 140-142, 145. [Bai Wenjuan, Jiao Juying. Analyses on diversity of primary natural restoration vegetation communities in abandoned croplands in the hilly-gulled region of the Loess Plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(3): 140-142, 145.]

[33] 李永强, 许志信. 典型草原区撂荒地植物群落演替过程中物种多样性变化[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2002, 23(4): 26-31. [Li Yongqiang, Xu Zhixin. Changes of species diversity in successional of plant community of abandoned land in typical steppe[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2002, 23(4): 26-31.]

[34] 汪海娇, 田丽慧, 张登山, 等. 青海湖东沙地不同植被恢复措施下土壤水分变化特征[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 76-86. [Wang Haijiao, Tian Lihui, Zhang Dengshan, et al. Variation of soil moisture content in vegetation restoration area of sandy land at east shore of Qinghai Lake[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(1): 76-86.]

[35] 王继丰, 韩大勇, 王建波, 等. 三江平原湿地小叶章群落沿土壤水分梯度物种组成及多样性变化[J]. 生态学报, 2017, 37(10): 3515-3524. [Wang Jifeng, Han Dayong, Wang Jianbo, et al. Variations in plant species composition and diversity of *Calamagrostis angustifolia* community along soil water level gradient in the Sanjiang Plain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(10): 3515-3524.]

[36] Lu N, Fu B J, Jin T T, et al. Trade-off analyses of multiple ecosystem services by plantations along a precipitation gradient across Loess Plateau landscapes[J]. Landscape Ecology, 2014, 29(10): 1697-1708.

Effects of different years of returning farmland on soil moisture and species diversity in Minqin Qingtu Lake area

WANG Jia[1], TIAN Qing[1], WANG Lide[1,2], HE Hongsheng[1],
SONG Dacheng[2], GUO Chunxiu[2]
(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China;
2. Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: Using the spatial instead of temporal method, we investigated the characteristics of soil moisture change and vegetation succession characteristics across different years of abandoned land (returned fields 1 a, 2 a, 4 a, 8 a, 13 a, 20 a, 30 a, 40 a, and CK) in the Qingtu Lake area of Minqin. As the period of abandoned land increased, the soil water content first decreased, then increased and gradually stabilized. Additionally, as the period of abandoned land increased, the number of individuals, number of groups and Margalef richness index tended to decline; the Shannon diversity index and Pielou evenness index increased first, then decreased and gradually stabilized, whereas the Simpson dominance index only minorly changed before stabilizing. Moreover, as the period of returning farmland increased, the plant community followed a succession process: *Kochia scoparia*→*Halogeton arachnoideus*→*Setaria viridis*→*Peganum nigellastrum*→*Suaeda microphylla*→*Lycium ruthenicum*→*Reaumuria soongarica*→*Kalidium foliatum*. Overall, the Simpson dominance index and soil water content in the 0−20 cm soil layer showed a highly significant negative correlation, whereas the Shannon diversity index and soil water content in the 0−20 cm soil layer showed a highly significant positive correlation; however, there was no significant correlation with soil water content in the 20−40 cm soil layer. Additionally, there was no significant correlation between group number, Margalef richness index, Pielou evenness index, and soil water content. As such, natural vegetation succession in arid areas depends on the soil water content in the 0−20 cm soil layer.

Keywords: Qingtu Lake; abandoned land; natural succession of vegetation; soil moisture content; correlation